

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO 2

**Códigos Corretores de Erro
e aumento de robustez frente
ao ruído em Redes WBAN**

Aline Alves Soares Thomaz

Brasília, Junho de 2019

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

PROJETO FINAL DE GRADUAÇÃO 2

**Códigos Corretores de Erro
e aumento de robustez frente
ao ruído em Redes WBAN**

Aline Alves Soares Thomaz

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Redes de Comunicação*

Banca Examinadora

Prof.Dr. Daniel Chaves Café, ENE/UnB
Orientador

Prof.Dr. Daniel Guerreiro e Silva, ENE/UnB
Examinador

Prof.Dr. Ricardo Zelenovsky, ENE/UnB
Examinador

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Traduzido, Arthur Schopenhauer

RESUMO

As redes WBAN estão sendo amplamente utilizadas ao redor do mundo em tratamentos médicos, esportes, ações militares e de segurança. Como todas as redes, a WBAN também enfrenta problemas relacionados ao ruído de propagação durante a transmissão. Tais problemas podem prejudicar o tratamento de um paciente ou ainda propiciar a coleta errônea de dados de atletas.

Para evitar tais situações, existem técnicas para aumentar a robustez de um sistema de comunicação frente ao ruído como, por exemplo, os códigos detectores de erro. Este projeto visa a aplicação destas técnicas, juntamente com o uso de microcontroladores e desenvolvimento de uma biblioteca para o uso dos códigos detectores de erro.

ABSTRACT

WBAN networks are being widely used around the world for medical treatments, sports, military and security actions. Like all networks, the WBAN also faces problems related to propagation noise during transmission. Such problems may impair the treatment of a patient or may lead to erroneous collection of athlete's data.

To avoid such situations, there are techniques to increase the robustness of a communication system against noise such as error-detecting codes. This project aims at the application of these techniques, along with the use of microcontrollers and library development for the use of error-detecting codes.

RESUMEN

Las redes WBAN están siendo ampliamente utilizadas en todo el mundo en tratamientos médicos, deportes, acciones militares y de seguridad. Al igual que todas las redes, WBAN también se enfrenta a problemas relacionados con el ruido de propagación durante la transmisión. Tales problemas pueden perjudicar el tratamiento de un paciente o incluso proponer la recogida errónea de datos de atletas.

Para evitar tales situaciones, existen técnicas para aumentar la robustez de un sistema de comunicación frente al ruido como, por ejemplo, los códigos detectores de error. Este proyecto tiene como objetivo la aplicación de estas técnicas, junto con el uso de microcontroladores y construcción de bibliotecas para el uso de los códigos detectores de error.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 REDES WBAN	2
2.1.1 COMPONENTES DE UMA REDE WBAN	3
2.1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE UMA REDE WBAN	4
2.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E MODULAÇÃO FSK	4
2.3 CÓDIGO DE HAMMING	6
2.4 O RUÍDO	9
2.5 O MÓDULO RF	11
2.6 ANTENAS	11
2.6.1 ANTENAS HÉLICE.....	12
3 METODOLOGIA E IMPLEMENTAÇÃO	14
3.1 JUSTIFICATIVA - REDES WBAN E RUÍDO	14
3.2 COMPARAÇÃO ENTRE CÓDIGOS CORRETORES DE ERRO	15
3.2.1 LDPC (LOW DENSITY PARITY CHECK CODES)	15
3.2.2 BCH	16
3.2.3 REED-SOLOMON.....	17
3.3 ESCOLHA DOS MÓDULOS RF E DAS ANTENAS	17
3.4 PASSO A PASSO DOS PROCEDIMENTOS	18
4 RESULTADOS.....	22
4.1 MEDIDAS REALIZADAS EM LABORATÓRIO COM OS MÓDULOS RF	22
4.1.1 MEDIÇÃO I.....	22
4.1.2 MEDIÇÃO II.....	24
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO NOS RESULTADOS.....	26
5 ANÁLISE FINAL.....	27
6 BIBLIOGRAFIA	28

A	ALGORITMO PARA CÓDIGO CORRETOR DE ERRO DE 1 BIT	31
---	---	----

LISTA DE FIGURAS

2.1	Esquema de Rede WBAN - Fonte [19]	3
2.2	Sistema de Comunicação.....	5
2.3	(a) Demodulação Incoerente (FM) (b) Demodulação Coerente (AM) - Fonte: [1]	6
2.4	Diagrama de Blocos - Código de Hamming (7,4) - Fonte: [13]	7
2.5	Matriz Geradora G (4,7).....	7
2.6	Matriz de paridade H da matriz geradora G (4,7)	8
2.7	A palavra-código x - Fonte: [13]	8
2.8	Exemplo - Síndrome S - Fonte: [13]	8
2.9	Matriz Geradora G (8,4).....	9
2.10	Matriz de paridade H da matriz Geradora G (8,4)	9
2.11	O efeito do ruído - Fonte: [1]	10
2.12	O Módulo RF - Transmissor e Receptor	11
2.13	Antena Helicoidal simulada - Fonte: [18]	12
2.14	(a) Antena Helicoidal Axial (b) Antena Helicoidal Normal - Fonte: [18]	13
3.1	Aplicações WBAN - Fonte: [17]	14
3.2	Bandas de frequência - Redes WBAN Fonte: [17]	15
3.3	Gráfico LDPC - FSK (BER X SNR)	16
3.4	Exemplo - Medição I - Posição II.....	20
3.5	Exemplo - Medição II - Transmissor e Microcontrolador	20
4.1	Diagrama de blocos - Medição I	22
4.2	Eficiência da Transmissão	23
4.3	Transmissão - Distância 10m	23
4.4	Transmissão - Distância 20m	24
4.5	Diagrama de blocos - Medição II	24
4.6	Tempo entre transmissões	25
4.7	Perda de sincronia do receptor	25
4.8	Transmissão e Recepção bem sucedidas.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS

Acrônimos

AM	Amplitude Modulation
ASK	Amplitude Shift Keying
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BCU	Body Control Unit
BER	Bit Error Rate
BPSK	Binary Phase Shift Keying
FM	Frequency Modulation
FSK	Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GND	Ground
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IoT	Internet of Things
LDPC	Low Density Parity Check Codes
PM	Phase Modulation
QoS	Qualidade de Serviço
RF	Radiofrequência
SNR	Razão Sinal-Ruído
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UnB	Universidade de Brasília
WBAN	Wireless Body Area Network
WMTS	Wireless Medical Telemetry Services

Capítulo 1

Introdução

Em pleno século XXI, percebe-se claramente o enorme avanço das Telecomunicações. Não somente pela sua maestria de evolução por si, mas pela parceria dos sistemas de comunicações com os dispositivos eletrônicos sofisticados.

Além de reduzir drasticamente as distâncias, as Telecomunicações criaram um mundo a partir daquele que já se conhecia. As aplicações dos sistemas de Comunicação vão muito além de uma simples chamada de voz. A Engenharia viu-se acoplada as mais diversas áreas, como a Medicina.

Os avanços possibilitados hoje na Medicina passam, na grande maioria dos casos, pelas mãos da Engenharia. Sabe-se que o aprimoramento de equipamentos e tratamentos de saúde ao redor do mundo passam por uma grande reformulação.

É o caso das redes WBAN (Wireless Body Area Network) , que estão sendo estudadas por engenheiros, médicos e pesquisadores ao redor do mundo. No Brasil, a UNICAMP tem realizado um trabalho de pesquisa, mas a área ainda é muito púbere e mais avanços são vitais. Estas redes sem fio utilizam sensores corporais que são instalados em um indivíduo à fim de monitorar sinais vitais ou injetar remédios em locais específicos do corpo. As redes WBAN utilizam o conceito de Comunicação Intra-Corporal. Trata-se de uma tecnologia que possibilitará que dois nós sensores instalados no corpo se comuniquem de forma segura, sem interferências externas.

Mas sabe-se que existem fatores internos e externos que podem prejudicar o funcionamento desta rede. Um deles é o ruído, presente em todos os sistemas de comunicação entre o transmissor e o receptor de uma aplicação. Como objetivo principal deste projeto, está o estudo das deficiências causadas pelo ruído em redes WBAN e também o que pode ser feito para diminuir os danos causados aos pacientes pela presença de ruído dentro dos sensores através do uso de códigos detectores de erro.

Além do objetivo principal traçado, também é primordial o estudo dos sistemas de Radio-frequência, das comunicações digitais nas redes sem fio e de códigos de Hamming.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais utilizados para o desenvolvimento desse trabalho.

2.1 Redes WBAN

Ao longo dos anos, a engenharia tornou-se cada vez mais versátil, unindo-se a outras áreas de atuação, como a medicina. Mais precisamente, a Engenharia de Redes de Comunicação, através do desenvolvimento gradual da comunicação sem fio, possibilitou uma grande evolução em sensores voltados à aplicações médicas [2].

Com isso, as pesquisas na área de redes de sensores sem fio levaram o Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE - <https://www.ieee.org/>) a formar um grupo de trabalho especificamente para essa área tecnológica. O padrão IEEE 802.15.6, voltado especificamente para a Rede de Área Corporal sem Fio (WBAN), visa proporcionar um protocolo internacional de baixa potência, de curto alcance e com alta qualidade de serviço (QoS) dentro ou fora da área do corpo humano, sendo comumente interligada com o crescimento de serviços IoT (Internet of Things)[15].

As redes de sensores sem fio são constituídas de um ou mais nós distribuídos e implementados para coletar informações sobre parâmetros de interesse usando alguns sensores. A figura 2.1 ilustra uma rede WBAN.

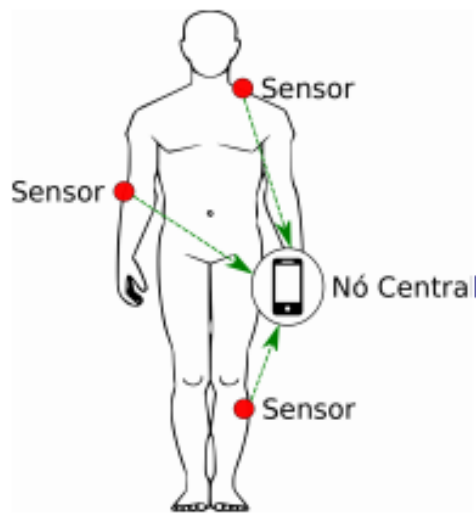


Figura 2.1: Esquema de Rede WBAN - Fonte [19]

2.1.1 Componentes de uma Rede WBAN

- **Nó Sensor:** é um pequeno dispositivo (possui alguns milímetros de comprimento) capaz de captar e reunir dados, transmitir os dados coletados e processar os dados, se necessário. É constituído por: hardware do sensor, uma unidade de alimentação, um processador, memória e um transmissor/receptor;
- **Nó Atuador:** Possui todas as funções do nó sensor com um adicional: age de acordo com os dados recebidos dos sensores ou através da interação com o usuário. Seus componentes são: hardware atuador, uma unidade de alimentação, um processador, memória e um receptor/transmissor;
- **Dispositivo Pessoal (Sink):** Reúne todas as informações colhidas pelos sensores e atuadores, pode disponibilizar essas informações ao usuário através de bips, um gateway externo, um display ou LEDS no dispositivo. Os componentes são uma unidade de alimentação, um processador, a memória e um receptor/transmissor. Este dispositivo é também chamado uma *unidade de controle corporal* (BCU) [19].

As redes WBAN permitem economizar tempo e reduzir gastos realizando o monitoramento remoto por meio de dispositivos embarcados em tempo real. Uma de suas aplicabilidades é a capacidade de enviar um alerta a qualquer hora do dia, com informações relevantes diante do que se deseja monitorar, sendo vital, logicamente, para a saúde, porque é capaz de auxiliar no monitoramento dos sinais vitais do corpo humano independentemente do local onde a pessoa esteja.

Além do monitoramento de cuidados médicos, as redes WBAN também são utilizadas em esportes de alto rendimento, eletrônica, aplicações militares e de segurança.

2.1.2 Considerações sobre uma Rede WBAN

Deve-se levar em consideração, ao utilizar uma rede WBAN:

- Interoperabilidade: As redes WBAN devem garantir transmissão ininterrupta e sem falhas para promover a troca de informações;
- Sistemas de Dispositivos: Os dispositivos utilizados devem ser de baixo custo, pequenos, leves e reconfiguráveis;
- Segurança: As redes WBAN levam informações importantes em tempo real, portanto deve-se garantir todo o aparato de segurança de redes para a implementação desta mesma [16];

Dentre as limitações encontradas pelas WBAN's estão: -

- Fontes de alimentação sensíveis;
- Os nós possuem baixa densidade;
- Incompatibilidade com tecidos humanos;
- Efeitos da interferência no corpo humano;

Este último é o que mais chama atenção pois é sabido que a radiação eletromagnética proporcionada pelas redes WBAN pode alterar a absorção de energia pelo corpo humano, além de afetar o sistema nervoso e causar mudanças de temperatura corporal, sendo necessário tomar todas as medidas para amenizar o ruído nos dispositivos usados na arquitetura desta rede [15].

2.2 Sistemas de Comunicação e Modulação FSK

As telecomunicações contemplam uma área da engenharia responsável por projetar, implantar, controlar e realizar a manutenção de redes de sistemas de comunicações (satélites, redes telefônicas, televisivas, emissoras de rádio, Internet, etc.). A principal finalidade das telecomunicações é suprir a necessidade humana de se comunicar à distância.

Um sistema de comunicação pode ser explicado de forma simples. As informações do emissor são convertidas em sinais eletromagnéticos, para que possam trafegar pelo sistema até que cheguem ao destino, onde são novamente convertidas em informações inteligíveis pelo receptor.

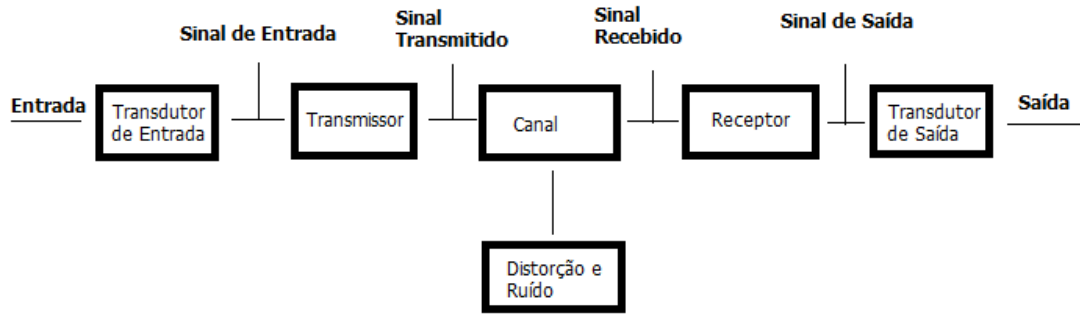


Figura 2.2: Sistema de Comunicação

São conhecidos como sinais analógicos tipos de sinais que variam continuamente em função do tempo. Já os sinais digitais são sinais com valores discretos (descontínuos) no tempo e em amplitude.

Em dados sistemas de comunicação, alguns parâmetros e limitações físicas controlam a taxa de transmissão e a qualidade do canal. São eles: a largura de banda e a potência do sinal. A largura de banda de um canal é conhecida como o intervalo de frequências em que ele é capaz de transmitir. Já a potência do sinal está ligada à qualidade do sinal através de seu aumento ou diminuição: o aumento da potência reforça os pulsos do canal e diminui efeitos do ruído e interferência.

Outro conceito importante para o entendimento completo de um sistema de comunicação é a SNR (Razão Sinal - Ruído): determinante para a qualidade da recuperação dos sinais transmitidos. Se $SNR > 0$, então tem-se que a Potência do sinal $>$ Potência do Ruído. Em alguns tipos de modulação, aumentar a SNR permite aumentar a taxa de símbolos.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{sinal}}{P_{ruído}} \right) \quad (2.1)$$

Dependendo, contudo, das características do canal e das informações a serem transmitidas, os sinais nem sempre são adequados à transmissão direta. Sinais de mensagem devem ser modificados para que a transmissão seja satisfatória. A essa modificação dá-se o nome de Modulação (o sinal em banda base é usado para modificar algum parâmetro de uma portadora – senoide de alta frequência – de sinal de radiofrequência) [1].

Desta forma temos, por exemplo, a modulação em amplitude AM, a modulação em frequência FM e a modulação em fase PM. Para reconstruir o sinal no receptor, o sinal modulado deve passar por um processo reverso chamado de Demodulação [1].

Em meados da década de 1920, a radiodifusão estava em sua infância. Contudo, as diversas técnicas empregadas para a redução do ruído criaram a ideia da modulação em frequência, onde a frequência da portadora seria variada em proporção à mensagem $m(t)$. A frequência angular da portadora $\omega(t)$ seria variável no tempo de modo que $\omega(t) = \omega_c + Km(t)$, sendo k uma constante arbitrária. Um sinal analógico é caracterizado por uma amplitude que pode assumir qualquer valor, já um sinal digital tem seus valores finitos. Um sinal analógico pode ser transformado em

sinal digital através de amostragem e quantização. Assim, os parâmetros básicos da comunicação analógica podem ser adaptados a comunicação digital, incluindo as técnicas de modulação. Daí, tem-se que o FM analógico transforma-se no FSK – chaveamento por deslocamento de frequência [1].

A equação abaixo é característica de um sinal FSK.

$$\varphi FSK = \sum_i^k a_k p(i - KT_b) \cos \omega_{c1} t + \sum_i^k a_k p(i - KT_b) \cos \omega_{c0} t \quad (2.2)$$

No sinal FSK, o 0 é transmitido por um pulso de frequência ω_{c0} e o 1 é transmitido por um pulso de frequência ω_{c1} . O sinal FSK pode ser visto como uma soma de dois sinais ASK (Amplitude Shift Keying) entrelaçados, ou seja, uma superposição de sinais AM com diferentes frequências portadoras e amplitudes diferentes, mas complementares.

Na demodulação, o FSK apresenta **comportamento incoerente**, onde o sinal que chega é aplicado a um par de filtros sintonizados, seguidos por um detector de envelope e **comportamento coerente**, gerando duas frequências de referência para os dois moduladores (o diagrama de blocos das duas técnicas de demodulação FSK pode ser visto na figura 2.3). A escolha de técnica de demodulação parte de quem está implementando um sistema com modulação FSK. [1]

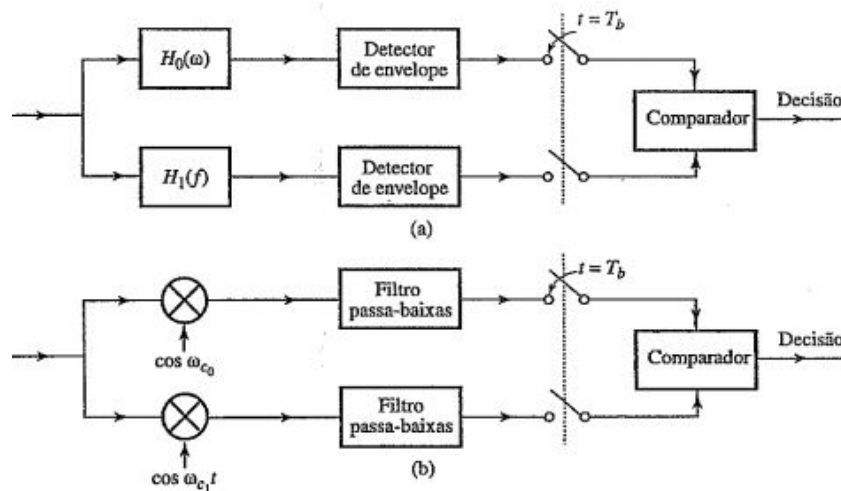


Figura 2.3: (a) Demodulação Incoerente (FM) (b) Demodulação Coerente (AM) - **Fonte:** [1]

2.3 Código de Hamming

A teoria de codificação de canal (ou códigos corretores de erro), proposta por Shannon [11] na década de 40, diz que existem códigos de bloco tais que possibilitam a transmissão de informação com uma probabilidade de erro arbitrariamente pequena, desde que o tamanho do bloco seja grande o suficiente (o que, naturalmente, resulta em uma taxa menor do que a capacidade do canal).

Dentro da codificação de canal é possível inserir redundância na mensagem de forma que, mesmo que parte da informação seja perdida ou corrompida, haja a oportunidade de recuperar a mensagem no receptor.

Um exemplo simples são os códigos de paridade. Considerando um bloco de n bits de informação, pode-se escolher o n -ésimo bit de forma que a paridade do bloco inteiro seja 0 (ou seja, o número de 1s seja par). Se houver apenas um erro de transmissão (na verdade, se houver um número ímpar de erros de transmissão), o receptor vai perceber que a paridade recebida será ímpar e detectar o erro. Este código não é capaz de corrigir erros, apenas detectá-los e, por isso, é chamado de Código Detector de Erros.

Pode-se estender essa ideia para permitir mais de um bit de paridade, de forma que se possa não apenas detectar erros, mas também corrigi-los. Um tipo especial de código de bloco linear foi proposto por Richard Hamming, e é chamado de Código de Hamming. O artigo intitulado “Error Detecting and Error Correcting Codes” [12] foi publicado em 1950 e definiu a base para o desenvolvimento deste assunto.

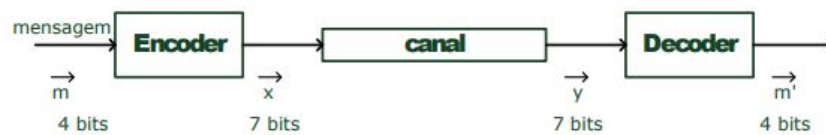


Figura 2.4: Diagrama de Blocos - Código de Hamming (7,4) - **Fonte:** [13]

Sabendo que a mensagem que se quer enviar, no exemplo da figura 2.4, tem 4 bits de informação, codifica-se essa mensagem gerando a palavra-código com 7 bits. Essa mensagem é transmitida através do canal e chega ao decodificador. Como podem ocorrer erros, não necessariamente a mensagem que sair do codificador será igual àquela que chegará no decodificador.

Para tanto, define-se aqui o conceito de *distância de Hamming* como sendo o número de bits diferentes entre duas palavras. Exemplo:

As palavras de código 10001001 e 10110001 distam 3 unidades de Hamming.

No exemplo do código (7,4), para criar a palavra-código, utiliza-se a matriz geradora G .

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.5: Matriz Geradora G (4,7)

Para a decodificação, pode-se utilizar a matriz de paridade H da matriz geradora G .

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.6: Matriz de paridade H da matriz geradora G (4,7)

O algoritmo para decodificar a palavra-código consiste em encontrar a síndrome s. A síndrome s diz exatamente qual dos bits deve ser invertido para transformar a mensagem que chegou no decodificador em uma palavra-código correta, ou seja, a síndrome diz qual o bit que teve a maior probabilidade de ter sido corrompido [14].

Vamos a um exemplo. Considerando as figuras 2.5 e 2.6, deseja-se enviar a mensagem

$$\vec{m} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{1 \times 4}$$

Primeiro, deve-se encontrar a palavra-código \vec{x} .

$$\vec{x} = \vec{m}\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 2.7: A palavra-código x - **Fonte:** [13]

Em seguida, considera-se que houve um erro e palavra recebida foi

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{1 \times 7}$$

Para decodificar, encontra-se primeiramente a síndrome s.

$$\vec{s} = \mathbf{H}\vec{y}^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.8: Exemplo - Síndrome S - **Fonte:** [13]

E, portanto, sabe-se que o erro está no terceiro bit e, para corrigi-lo, inverte-se este bit e tem-se

$$\vec{y} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}_{1 \times 7}$$

Agora, encontra-se a mensagem \vec{m} que geraria a palavra \vec{y} , isto é, os 4 primeiros bits.

Portanto:

$$\vec{m}' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{1 \times 4}$$

O código Hamming (7,4) pode ser facilmente estendido para um código de (8,4) por adição de um bit extra de paridade sobre a palavra de código (7,4). Tem-se, por exemplo, para este caso, as seguintes matrizes:

$$\mathbf{G} := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}_{4,8}$$

Figura 2.9: Matriz Geradora G (8,4)

$$\mathbf{H} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}_{4,8}$$

Figura 2.10: Matriz de paridade H da matriz Geradora G (8,4)

A introdução da quarta linha permite acomodar a soma de todos os bits de palavra de código (dados e paridade) como o quarto bit de paridade. Por exemplo, 1011 é codificada como 01100110. Podemos assim mostrar que a distância mínima aumentou de 3 para 4, passando o código (7,4), a código (8,4).

2.4 O Ruído

O ruído é geralmente definido como um termo abrangente. São chamadas de "ruído", interferências e perturbações indesejáveis que corrompem os sinais que passam pelos canais de comunicação, além das distorções lineares e não lineares que os canais sofrem. Em sistemas de comunicação básicos, o canal distorce o sinal e o ruído se acumula ao longo do trajeto (figura 2.11). O ruído é um dos fatores fundamentais na limitação da taxa de comunicação [7].

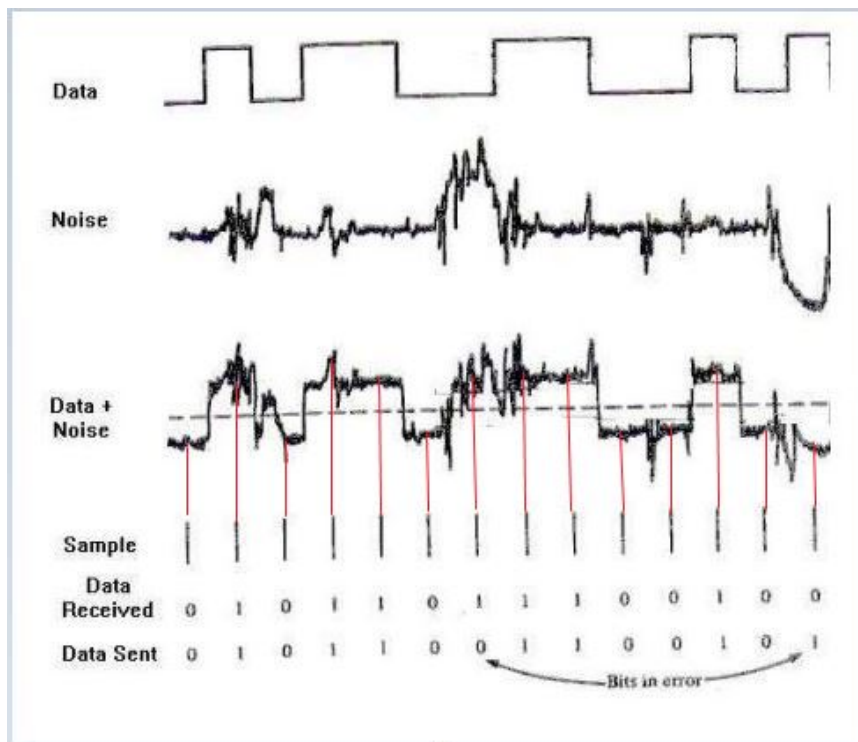


Figura 2.11: O efeito do ruído - **Fonte:** [1]

Existem diversos tipos de ruídos nos sistemas de comunicação. E podem ser classificados com relação a fonte, comportamento no tempo e comportamento na frequência:

Quanto a fonte:

- **Ruído Interno:** A fonte de ruído é interna ao sistema de telecomunicações;
- **Ruído Externo:** A fonte de ruído é externa ao sistema de telecomunicações [28].

Quanto ao comportamento no tempo:

- **Ruído Impulsivo:** É o ruído constituído em impulsos discretos que interferem no sinal transmitido;
- **Ruído Contínuo:** É um ruído que se propaga pelo sistema de forma contínua ao longo do tempo [28].

Quanto ao comportamento na frequência:

- **Ruído Branco:** ruído que apresenta componentes em todo o espectro de frequência;
- **Ruído Colorido:** apresenta componentes frequenciais em uma ou algumas frequências [8].

Em sistemas de comunicação, com ênfase em sistemas de Radiofrequência, são comuns:

- **Ruído Térmico:** causado pela variação de temperatura ao longo do percurso feito pelo sinal. Gerado por agitação térmica de elétrons em condutor. Também conhecido como AWGN (*Additive White Gaussian Noise*);
- **Ruído Balístico** (*Shot Noise*): Flutuações aleatórias na taxa de difusão de portadores de carga em junções semicondutoras (transistores).
- **Ruído Flicker:** Associado a defeitos superficiais em semicondutores;
- **Ruído Senoidal:** Ligado a alimentação do circuito[8];

2.5 O módulo RF

O Módulo RF é constituído por um par de transmissor e receptor (figura 2.12) operando em uma determinada frequência, que está disposta no espectro eletromagnético. As ondas de rádio e as micro-ondas são as ondas eletromagnéticas utilizadas pelos módulos RF. A frequência escolhida se relaciona com a aplicação que se deseja implementar.

O transmissor de um módulo RF é formado por três pinos: um para aterramento, o segundo para a transmissão de dados e o terceiro para a alimentação. O receptor funciona de forma semelhante, porém possui um pino a mais para recepção, totalizando quatro pinos. Em resumo, no receptor há um pino para alimentação, um para aterramento e dois para recepção.

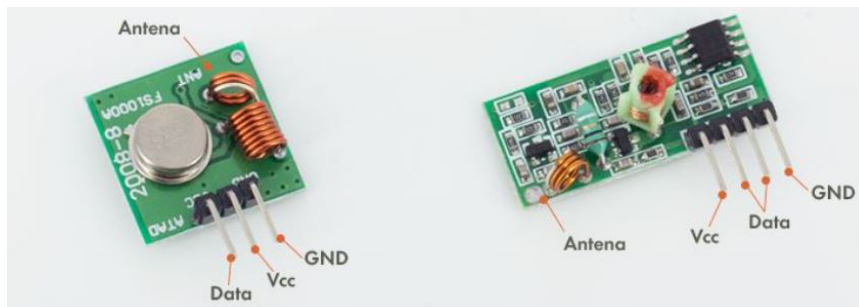


Figura 2.12: O Módulo RF - Transmissor e Receptor

Ambos os componentes do módulo possuem elementos relacionados a microeletrônica como microcontroladores para regulação de certos parâmetros. Além disso, há a possibilidade do uso de antenas, caso a distância de propagação seja maior que 10m [4].

2.6 Antenas

As antenas são estruturas extremamente necessárias quando se fala de radiopropagação. Sabe-se que as ondas eletromagnéticas sofrem reflexão, refração, difusão ou qualquer outro fenômeno durante a propagação. A função de uma antena é garantir o total atendimento da área de cobertura (Área efetiva em que há condições de troca de informações dentro da interface de ar). As antenas

têm a capacidade de transformar uma onda eletromagnética guiada pela linha de transmissão em uma onda eletromagnética irradiada [7].

Cada antena é projetada para uma determinada faixa de frequências, de modo que fora de sua banda de frequência de operação, a antena atenua o sinal acentuadamente ou o rejeita completamente, ou seja, pode-se dizer que uma antena é um filtro passa-banda natural e um transdutor [14].

As antenas podem ser classificadas em:

- **Antenas Isotrópicas:** Irradiam uniformemente em todas as direções;
- **Antenas Omnidirecionais:** Irradiam quase uniformemente em todas as direções;
- **Antenas Direcionais:** Irradiam em direções bem definidas [14];

2.6.1 Antenas Hélice

As Antenas Hélice, ou antenas helicoidais, são um tipo específico de antenas constituídas por uma hélice condutora, também chamada de "mola", e de um plano refletor (*ground plane* - plano terra).

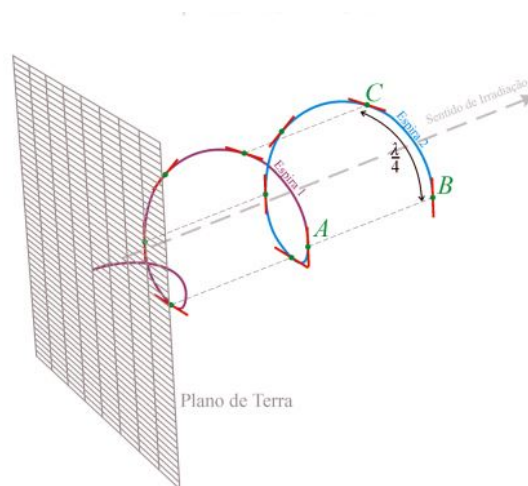


Figura 2.13: Antena Helicoidal simulada - **Fonte:** [18]

As antenas helicoidais possuem dois modos de irradiação:

- **Axial:** a antena forma um *array* do tipo *end-fire* e irradia todas as ondas no sentido do eixo da hélice, polarizadas circularmente;
- **Normal:** a antena forma um *array* do tipo *broadside* e irradia todas as ondas no sentido perpendicular ao eixo da hélice, polarizadas linearmente;

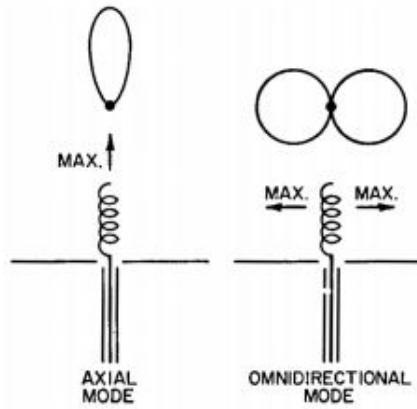


Figura 2.14: (a) Antena Helicoidal Axial (b) Antena Helicoidal Normal - **Fonte:** [18]

Para operação em modo **normal**, as dimensões da hélice devem ser pequenas quando comparadas com o comprimento de onda (λ), isto é, diâmetro $D \ll \lambda$ e altura da hélice L geralmente $\gg \lambda$. A hélice no modo normal é eletricamente pequena e, portanto, a sua eficiência é baixa. Uma vez que a hélice é pequena, a corrente é assumida constante em magnitude em todo o seu comprimento. O padrão de campo distante é independente do número de voltas e pode ser obtido através da análise de uma volta.

As principais características de uma antena helicoidal que opera em modo **axial** são a alta diretividade e o fato de que esta antena opera com ampla ou pequena largura de faixa. Neste modo, o diâmetro D e o espaçamento S devem ter dimensões comparáveis ao comprimento de onda. Este modo de irradiação é conseguido quando aumenta-se a circunferência C da hélice, até que ela seja da ordem de um comprimento de onda λ [18].

Capítulo 3

Metodologia e Implementação

Esse capítulo descreve todas as ferramentas e experimentos utilizados para análise final.

3.1 Justificativa - Redes WBAN e ruído

Já se sabe que as redes WBAN emergiram como uma tecnologia chave para prover monitoramento médico em tempo real de um paciente e diagnosticar muitas doenças graves. As redes WBAN operam nas proximidades, dentro ou no interior de um corpo humano e suportam uma variedade de aplicações médicas e não médicas. Por isto a importância de se realizar um estudo a fim de tornar esta rede um sistema cada vez mais robusto. Como apurado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população idosa que representava 8,6% dos brasileiros em 2000, equivalendo a aproximadamente quinze milhões de pessoas, deverá ultrapassar os 15% até o ano de 2020. Estes números, somados aos pacientes hospitalares e pacientes em cuidados de *Home Care* evidenciam a necessidade da organização de equipes multidisciplinares com o aprimoramento dos conhecimentos técnicos científicos e, principalmente, de recursos tecnológicos acessíveis como o monitoramento contínuo [26]. Daí a importância do estudo das redes WBAN e do aumento de sua robustez no Brasil. A figura 3.1 apresenta algumas aplicações das redes WBAN.

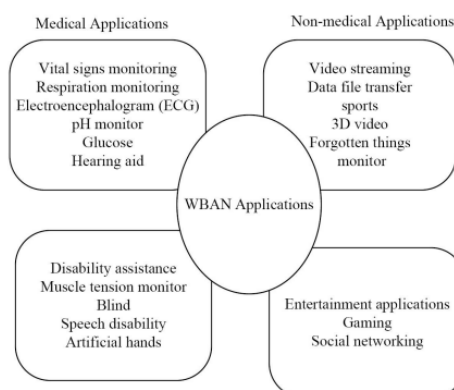


Figura 3.1: Aplicações WBAN - Fonte: [17]

Assim, para promover um estudo acerca da robustez frente ao ruído em um sistema WBAN, criou-se um sistema simplificado de uma rede WBAN, como uma versão inicial, que utiliza modulação FSK, códigos corretores de Hamming e módulos RF de 433MHz. O porquê para a escolha destes parâmetros é explicada a seguir.

Para este projeto, a seleção da banda de frequência de estudo foi uma das as questões mais importantes. Aqui, a banda de frequência escolhida foi 420-450 MHz, utilizando a modulação **GMSK** (*Gaussian Minimum Shift Keying*), que é um tipo de modulação FSK em que a modulação em frequência é o resultado de uma modulação em fase com sinais adequados e amplitude constante, tornando-o apropriado para uso com amplificadores de alta frequência. Esta banda de frequência (figura 3.2) é utilizada em **WMTS** (*Wireless Medical Telemetry Services*), uma espécie de subárea das redes WBAN [25], que incluem dispositivos para medir os sinais vitais dos pacientes e outros parâmetros importantes de saúde (por exemplo, pulso e respiração) e dispositivos que transportam os dados através de um link de rádio para um local remoto, como uma estação de enfermeiro [17]s.

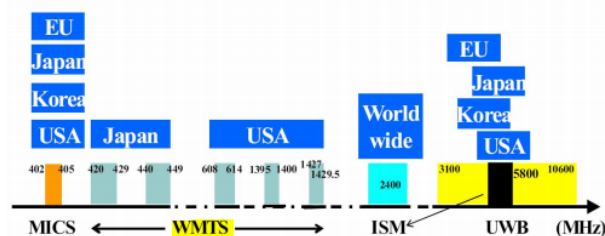


Figura 3.2: Bandas de frequência - Redes WBAN Fonte: [17]

3.2 Comparação entre códigos corretores de erro

Foram analisados alguns tipos de códigos corretores de erro para a seleção daquele que melhor se encaixe na proposta. A título de comparação, tem-se algumas informações sobre outros códigos detectores de erros analisados.

3.2.1 LDPC (Low Density Parity Check Codes)

O LDPC (Low Density Parity Check Codes) - Códigos de verificação de erros de paridade de baixa densidade ou Códigos de Gallager foram desenvolvidos na década de 70 e apresentam um ótimo desempenho em canais ruidosos. São considerados uma classe de códigos de bloco linear que oferecem um desempenho surpreendentemente próximo ao limite de Shannon no canal AWGN[9].

O código-fonte foi desenvolvido por Nugroho [10] e está disponível online. Entretanto, para melhor encaixe nos tramites deste projeto, a modulação utilizada no código-fonte foi alterada de BPSK para FSK, modificando também todos os parâmetros necessários.

Como resultado, obteve-se o gráfico abaixo:

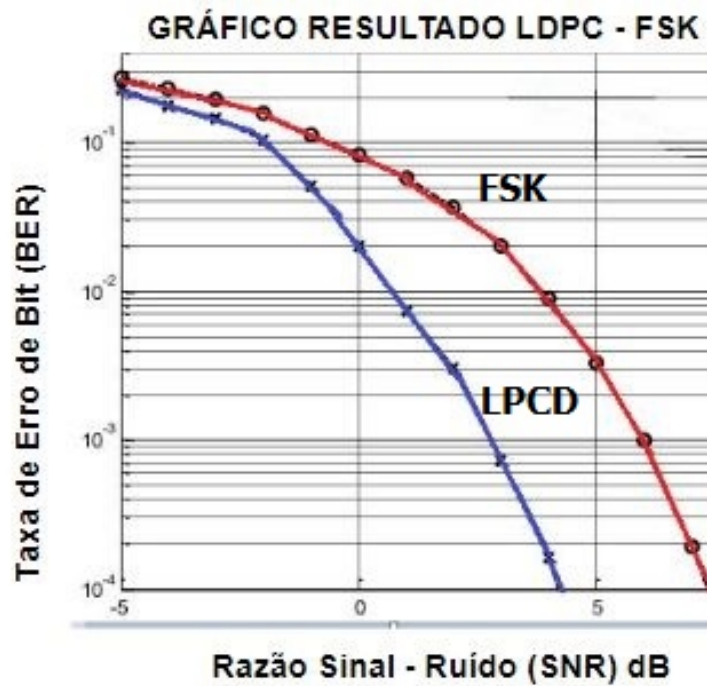


Figura 3.3: Gráfico LDPC - FSK (BER X SNR)

O gráfico é o resultado de uma avaliação onde se buscava avaliar o desempenho dos códigos LDPC em um canal AWGN no qual é utilizada uma modulação FSK. A linha vermelha marca o desempenho de um sinal modulado em FSK simples. Já a linha azul mostra o desempenho de um sinal modulado em FSK junto a um código LDPC. Percebe-se que a taxa de erro de bit diminuiu com o uso da codificação conforme o aumento da relação sinal-ruído (SNR). Para uma SNR de 0dB, tem-se 2% (2×10^{-2}) de erro usando o código LDPC e 8% (8×10^{-2}) de erro sem uso do código. Infelizmente, o grande obstáculo para utilização desse código foi seu nível de complexidade computacional elevado.

3.2.2 BCH

Os códigos BCH formam uma classe cíclica de correção de erros que são construídos a partir de corpos finitos. Esses códigos foram inventados em 1959 por Alexis Hocquenghem, Raj Chandra Bose e Ray-Chaudhury, sendo BCH a abreviação dos nomes desses inventores[22].

Uma das características chave de códigos de BCH é que durante a concepção de um código, existe um controle preciso sobre o número de erros de símbolos corrigíveis pelo código [22].

Por mais que seja possível projetar códigos BCH binários que podem corrigir múltiplos erros de bits, além da facilidade com que podem ser decodificados, o fato deste tipo de código trabalhar com verificações cíclicas de erro não condiz com o objetivo deste trabalho, uma vez que, para a aplicação escolhida, é necessária a verificação de erros em tempo integral [22].

3.2.3 Reed-Solomon

Em 1960, Irving Reed e Gus Solomon publicaram o artigo “Polynomial Codes Over Certain Finite Fields” [23], no “Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics”. Este artigo apresentou uma nova classe de códigos corretores de erro que hoje são chamados de códigos Reed-Solomon. Estes códigos tornaram-se muito úteis devido a sua baixa complexidade e alto poder de correção, e hoje são utilizados em diversas aplicações de armazenamento e transmissão de dados.

Os códigos RS são representados na forma $RS(n,k)$, onde n é o número total de símbolos e k é número de símbolos. Outra variável importante em uma sequência é a capacidade de correção do código, representada pela letra t . O total de símbolos de paridade é dado por $2t$ [23].

O grande obstáculo para a utilização desse código é que no seu processo de codificação e decodificação, para o comprimento e a dimensão fixos, obtém-se a correção de erros. Isto não é aplicável a este projeto, pois não há garantias que a aplicação escolhida tenha comprimento e dimensões imutáveis [24].

3.3 Escolha dos módulos RF e das Antenas

Para alcançar o objetivo do projeto, foram realizadas diversas análises acerca de sistemas RF. Para tanto, foram escolhidos dois pares de módulos RF de 433MHz e 315MHz. Também utilizou-se Antenas Helicoidais para módulos RF a fim de se proporcionar um maior alcance nas transmissões. As antenas helicoidais escolhidas possuem as seguintes características, já apresentadas pelo fabricante no momento da compra:

- Impedância de entrada: 50 Ω ;
- Potência máxima: 10 W;
- Ganho: 2.15 dBi;
- Massa: 2g;
- Altura: 27 mm;
- Tipo de interface: soldada diretamente;

Para garantir o melhor alcance possível, as antenas devem ter um tamanho mínimo para cada frequência de operação. O cálculo do tamanho mínimo é mostrado a seguir:

- Para a frequência de 433MHz:

300.000 Km/s - Velocidade aproximada de propagação de uma onda de RF;

$300000\text{Km} / 433000\text{ Hz} = 0.69\text{ m}$ - comprimento da onda

Usando uma antena de 1/4 de onda: $0.69\text{m} / 4 = 17\text{cm}$

- Para a frequência de 315MHz:

300.000 Km/s - velocidade aproximada de propagação de uma onda de RF

$300000\text{Km} / 315000 \text{ Hz} = 0.95 \text{ m}$ - comprimento de onda

Usando uma antena de $1/4$ de onda: $0.95\text{m}/4 = 23\text{cm}$

Em resumo, o módulo RF de 433MHz necessita de uma antena de no mínimo 17cm de comprimento enquanto o módulo de 315MHz tem o mínimo de comprimento da antena fixado em 23cm.

Primeiramente, após a definição do campo de estudo e da aquisição dos módulos RF e das antenas, foi iniciado a elaboração de um código detector de erro de bit com base no Código de Hamming tanto para o transmissor quanto para o receptor.

Tendo conhecimento de que existem diferenças nas propagações em 433MHz e 315MHz (o módulo de 315MHz se comporta melhor em ambientes abertos, por exemplo), os módulos RF foram levados ao laboratório 2 - Circuitos Elétricos do prédio SG 11 no campus da UnB para testes, utilizando o microcontrolador MSP430 - F5529 para a transmissão de dados através do código detector de erros desenvolvido para o transmissor, utilizando o software "Code Composer Studio 8.3.0". No fim, como resposta, observou-se a saída impulsional no oscilador acoplado ao receptor no circuito construído.

3.4 Passo a passo dos procedimentos

- **Implementação baseada na teoria de Hamming**

O primeiro passo consistia em desenvolver, utilizando o software "Code Composer Studio 8.3.0", um programa que utilizasse teoria desenvolvida por Hamming para erros de bit. Para isso, determinou-se uma matriz que viria a ser a matriz geradora \mathbf{G} , que é o codificador, e também definiu-se uma mensagem \vec{m} constituída por 4 bits (neste caso, 1010).

Em seguida, determinou-se a palavra- código \vec{x} como sendo a multiplicação de \vec{m} por \mathbf{G} .

$$\vec{x} = \vec{m}\mathbf{G}$$

Para a decodificação, a palavra recebida \vec{y} é decodificada por um decodificador de máxima verossimilhança através da matriz de paridade \mathbf{H} . A matriz \mathbf{H} foi encontrada resolvendo a equação $\mathbf{GH}^{-T} = 0$.

- **Código detector de erro**

Ainda utilizando o software "Code Composer Studio 8.3.0", o próximo passo seria identificar qual bit foi recebido erroneamente. Para isso, foi necessário o cálculo da síndrome \vec{s} . A síndrome foi calculada pela equação $\vec{s} = \mathbf{Hy}^{-T}$

Assim, na rotina principal, codifica-se o nibble (4-bits) 1010 para gerar o byte 1010.0101. Os últimos quatro bits são de paridade. Em seguida, altera-se a mensagem modificando o bit4, gerando assim um erro de um bit. Rodando o programa, o decodificador consegue corrigir o erro com sucesso através da síndrome calculada.

• Sistema Completo

Uma vez que já havia sido construído um código detector de erro, viu-se o momento de implementá-lo em um experimento laboratorial com o auxílio de um microcontrolador MSP430 - F5529. O programa desenvolvido tinha a função de transmitir os bits dentro da janela de tempo pré-estabelecida. Na recepção, era possível verificar os bits recebidos. O programa era sensível a mudanças no canal, acendendo o led verde quando havia recepção e acendendo o led vermelho quando a recepção não acontecia.

• Montagem experimental e testes

Foram levados ao laboratório:

1. Um par de módulos RF, com antenas helicoidais acopladas ao transmissor;
2. Dois microcontroladores MSP430 - F5529;
3. Dois notebooks;
4. Dois conversores de tensão;

Entre os equipamentos utilizados no laboratório:

1. Fonte de Tensão;
2. Gerador de funções;
3. Osciloscópio;
4. Duas protoboards;
5. Fios "jumpers";
6. Cabos;

Para a medição I, observou-se a saída impulsional no osciloscópio esperando encontrar alterações geradas pela ação do ruído. Foram realizados testes de distância para análise do efeito do ruído. Para tanto:

1. Posição inicial: transmissor e receptor na mesma protoboard;

2. Posição I: transmissor e receptor em protoboards diferentes sobre a mesma bancada;
3. Posição II: transmissor e receptor em protoboards diferentes sobre bancadas diferentes;
4. Posição III: transmissor e receptor em protoboards diferentes com o transmissor sendo movimentado pelo espaço;

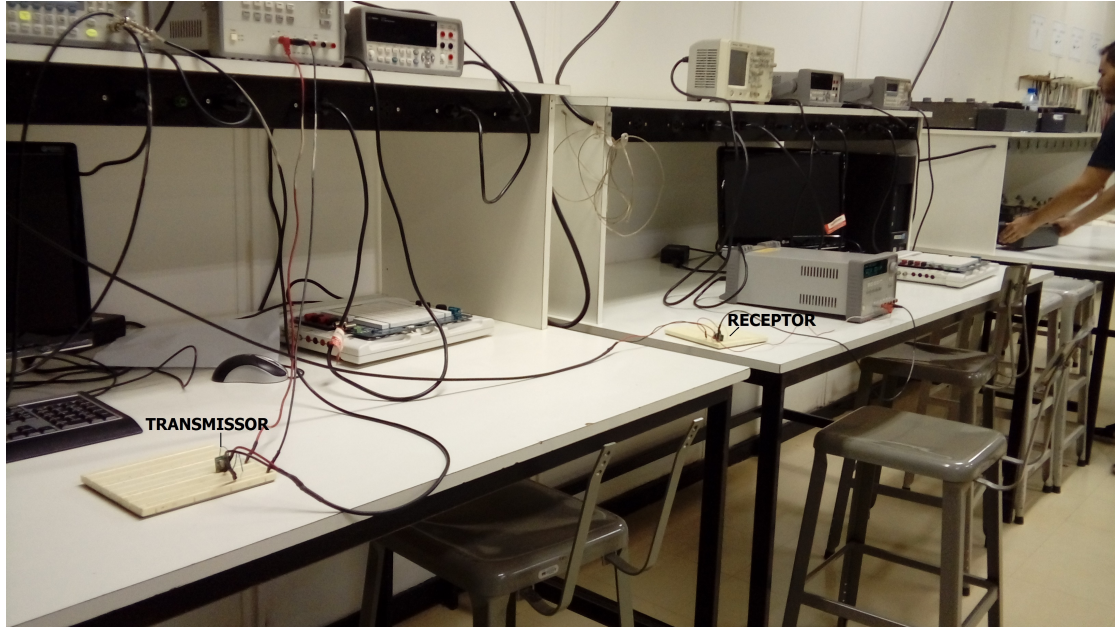


Figura 3.4: Exemplo - Medição I - Posição II

Para a medição II, cada componente do módulo RF (transmissor e receptor) foi conectado ao um microcontrolador MSP430 - F5529, que já possuía em sua memória o programa a ser implementado. Foram realizados testes para análise do efeito do ruído, levando em consideração as mesmas distâncias da medição I.

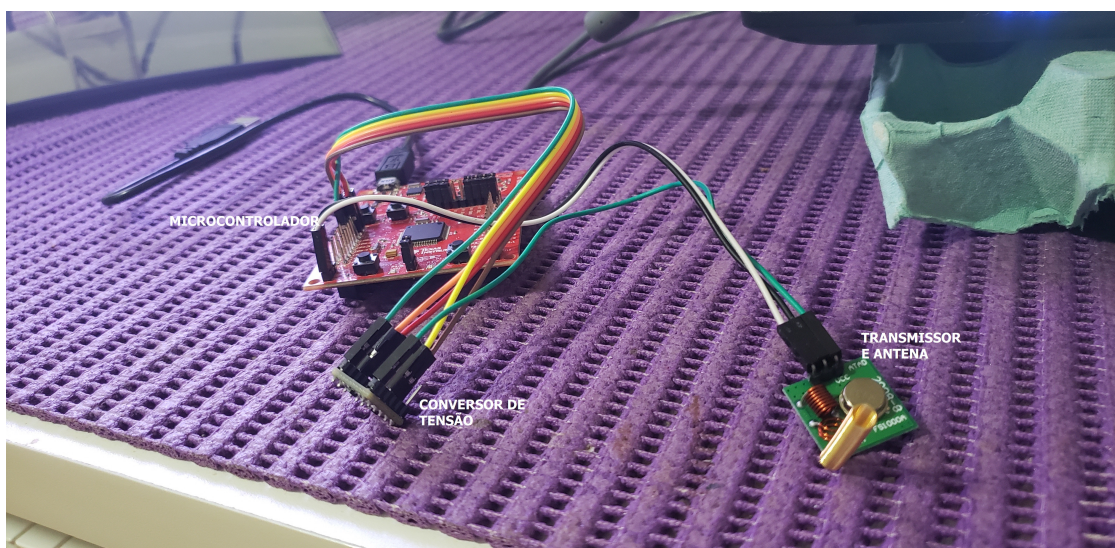


Figura 3.5: Exemplo - Medição II - Transmissor e Microcontrolador

Capítulo 4

Resultados

Esse capítulo descreve os resultados obtidos após todos os experimentos serem realizados com sucesso.

4.1 Medidas realizadas em laboratório com os módulos RF

No Laboratório 2 – Circuitos Elétricos – SG11 – Campus Darcy Ribeiro – UnB foram realizadas medições com os módulos RF. As medições tiveram seu alcance ampliado pelo uso das antenas e seus erros detectados pelos códigos corretores de erro.

4.1.1 Medição I

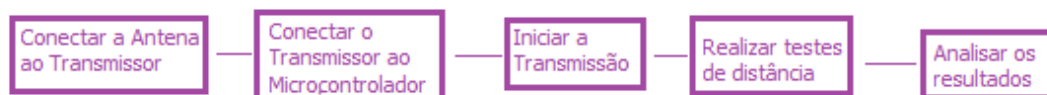


Figura 4.1: Diagrama de blocos - Medição I

A primeira medição contou com o transmissor e o receptor. Ao transmissor estava soldada uma antena helicoidal de 20 espiras (foi utilizado o módulo de 433MHz) e ele foi conectado ao microcontrolador, que recebia os bits a serem transmitidos pelo código desenvolvido utilizando o software "Code Composer Studio 8.3.0". A sequência de bits usada foi 10100101.

Inicialmente, verificou-se a eficiência da transmissão com o transmissor e o receptor em uma mesma bancada do laboratório.

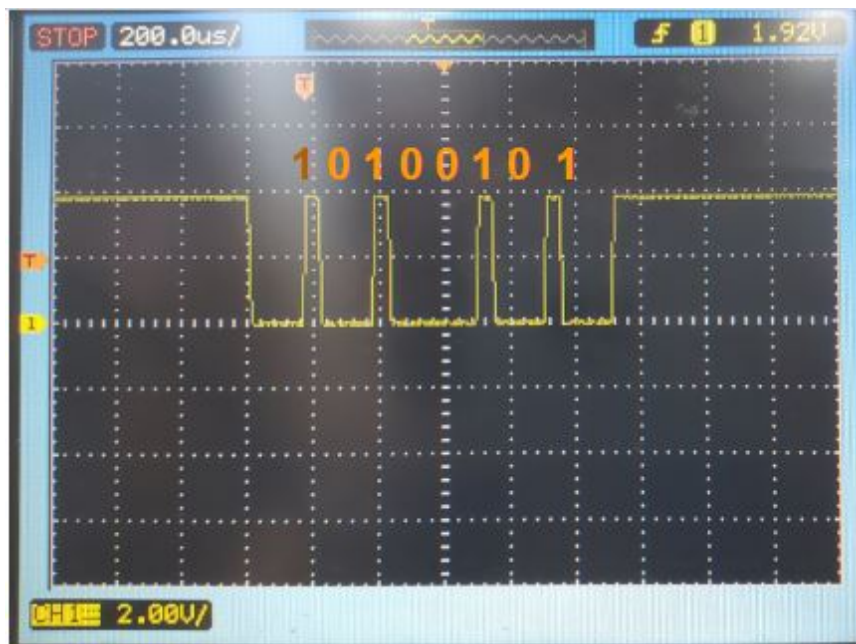


Figura 4.2: Eficiência da Transmissão

Em seguida, realizou-se um teste de distância para verificar qual o máximo alcance de transmissão possível. A uma distância de 10m, verificou-se a existência de ruído no início da transmissão, conforme mostra a figura abaixo:

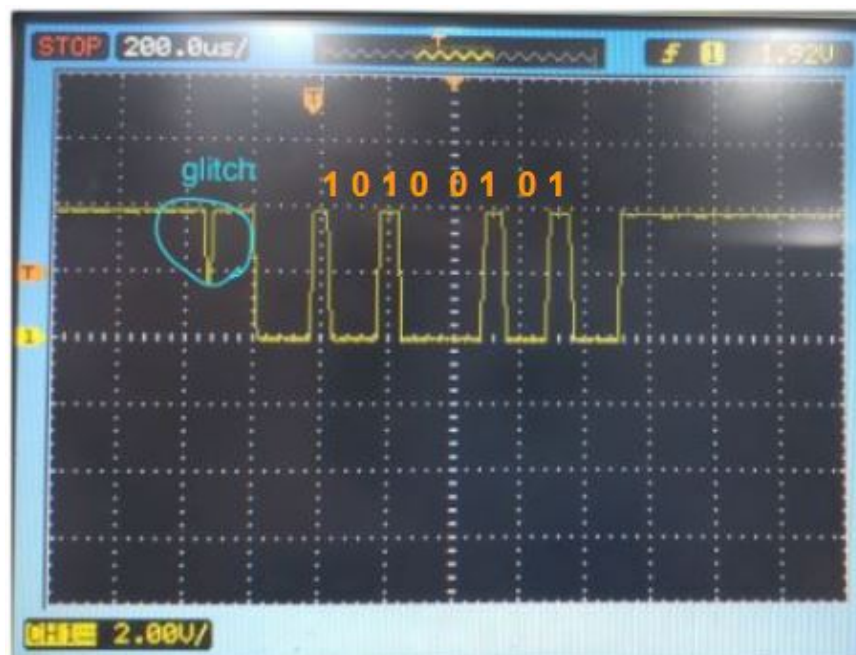


Figura 4.3: Transmissão - Distância 10m

Em continuidade, aumentou-se a distância para 20m, onde verificou-se que a existência do ruído prejudicou a transmissão. Os bits enviados (10100101) não foram recebidos corretamente. O receptor recebeu 10100001.

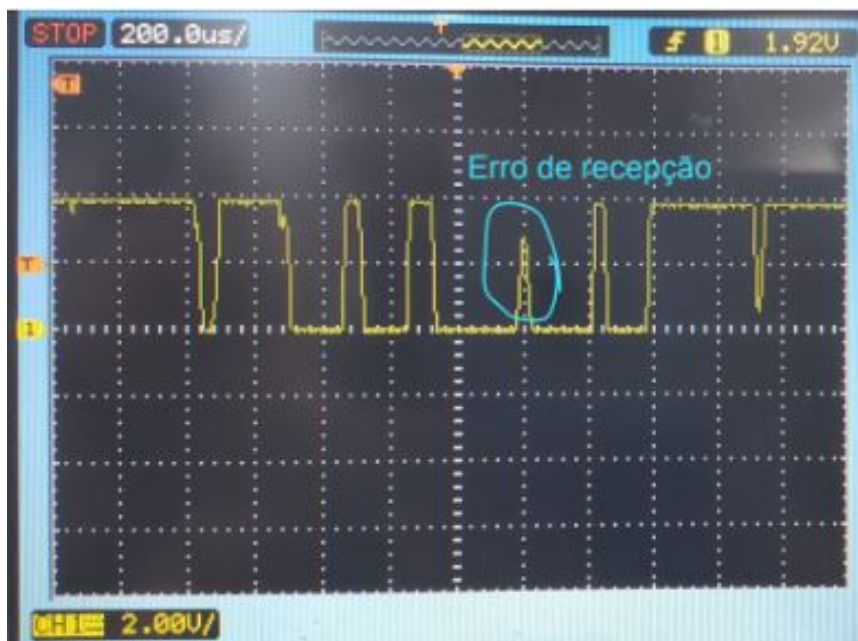


Figura 4.4: Transmissão - Distância 20m

Como resultado, verificou-se que a distância máxima de transmissão em que o ruído não causa falhas é algo em torno de 15m. A partir daí, o sistema começa a sofrer com as ações do ruído.

4.1.2 Medição II

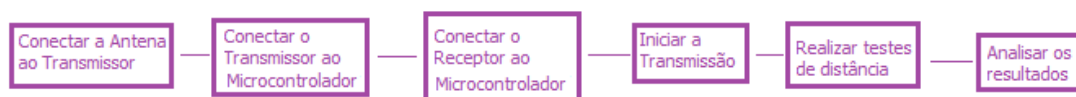


Figura 4.5: Diagrama de blocos - Medição II

A segunda medição também contou com o transmissor e o receptor. Ao transmissor estava soldada uma antena helicoidal de 20 espiras e ele foi conectado ao microcontrolador, que recebia os bits a serem transmitidos pelo programa desenvolvido utilizando o software "Code Composer Studio 8.3.0". O receptor estava, igualmente, conectado a um microcontrolador.

Para esta medição foi utilizado o programa projetado com base no código de Hamming, que trabalhassem com a correção de possíveis erros (disponíveis nos apêndices deste projeto). A sequência de teste usada foi 10100101.

Utilizando o "Logic 1.2.18" da fabricante Saleae (Osciloscópio virtual), foi possível apresentar alguns resultados. Por exemplo, o tempo entre as transmissões pôde ser cronometrado. A figura 4.7 mostra que, entre duas transmissões, foi observado um intervalo de 13.14ms.

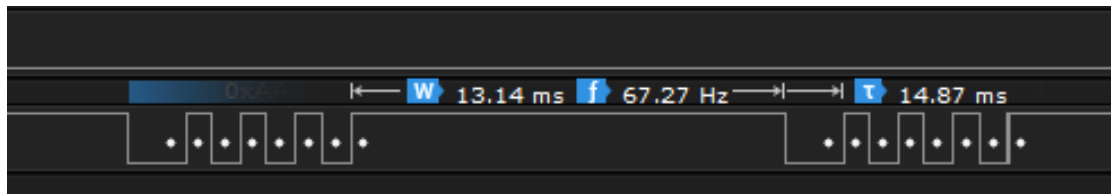


Figura 4.6: Tempo entre transmissões

Como resultado, vê-se que há a possibilidade diminuir o nível de ruído fazendo o transmissor enviar valores com alternância, intercalados de +ou- 10ms. Se o tempo entre transmissões passar de 15ms o receptor apresenta instabilidade e perde sincronia, como mostra a figura 4.8.



Figura 4.7: Perda de sincronia do receptor

Quando o intervalo de transmissões é maior que 15ms, o receptor tende a apresentar oscilações e instabilidade.

Com estas informações, foi possível adaptar o código corretor no para que se obtivesse sucesso na correção de erros de bits durante uma transmissão sem fio, a fim de se eliminar o ruído.

Partindo de um período de repouso em 1, a transmissão iniciada ocorre com uma alternância de 10ms entre os valores, com tempo máximo de intervalo de 13.14ms. O que pôde-se observar é que, dentro destas circunstâncias, quando houve erro de transmissão de 1 bit, o erro não só foi identificado pelo receptor como também foi corrigido, fazendo com que a transmissão ocorresse com sucesso absoluto.

Na figura 4.9, o contorno em vermelho mostra exatamente onde houve o erro de transmissão e a robustez do receptor frente ao problema. Em termos práticos:

- Sequência de bits transmitida: 10100101;
- Sequência de bits recebida sem tratamento ao erro: 10100111;
- Sequência de bits recebida com tratamento ao erro: 10100101;

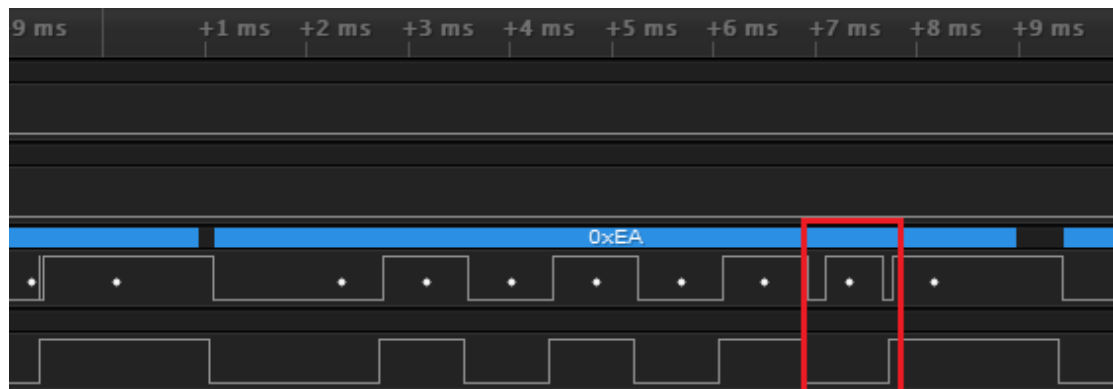


Figura 4.8: Transmissão e Recepção bem sucedidas.

4.2 Caracterização do ruído nos resultados

Depois de todos os experimentos e estudos realizados é possível caracterizar o ruído do dispositivo utilizado na experimentação.

Durante a análise dos resultados, chamou a atenção o comportamento do canal quando não havia transmissão. Existia ruído intermitente quando o canal estava em repouso. Um fato interessante é que, muitas vezes, este tipo de ruído era superior ao observado durante a transmissão. Como este tipo de ruído também interfere na robustez de um sistema, foi atribuído a este fenômeno uma atenção especial.

Como conclusão, diante da análise de todas as etapas do projeto, entende-se que se tratava de um caso de ruído senoidal, ligado à alimentação do circuito, externo e contínuo. Verificou-se também que havia um intervalo máximo de 10ms na transmissão em que, mesmo que não houvesse um dado sendo transmitido, o canal não apresentava o ruído em questão. Tal intervalo pode ser considerado o *Tempo de Guarda* do canal, o período onde todas as versões do sinal que chegam ao receptor caem dentro da duração do símbolo.

Quanto ao ruído existente durante a transmissão, entende-se que se tratava de um ruído impulsivo, colorido e térmico (AWGN). Além do ruído, observou-se a presença de *glitches* na experimentação. Um *glitch* é uma variação de curta duração no valor quando não se espera nenhuma variação. Na figura 4.4, é possível ver claramente a existência do glitch. Com a transmissão em repouso, houve uma pequena alteração no osciloscópio, que não chegava a ser contínua mas era intermitente.

Capítulo 5

Análise Final

Desde o início, este projeto buscava a viabilidade da aplicação e da convergência de temas muito usufruídos pela engenharia para promover a melhora de sistemas de saúde que utilizem redes WBAN. Sabe-se que um dos grandes problemas que as comunicações sem fio enfrentam são as limitações causadas pelo ruído e outros fatores que possam causar falhas.

Como forma de aprimorar os sistemas de comunicação em fio, através do uso de módulos RF, antenas e conhecimentos em modulação digital por frequência, aliados a conhecimentos acerca de Sistemas Embarcados e teorias acerca de códigos corretores de erro, pôde-se elaborar uma linha de pesquisa e experimentação que atendesse as necessidades elancadas no prelúdio.

Além de promover um maior grau de conhecimento acerca das possíveis parcerias entre a engenharia e a medicina, este projeto visou apresentar sistemas mais robustos e eficazes em suas transmissões. Como maior resultado e conquista deste projeto tem-se a possibilidade de que o uso de códigos corretores de erro possa auxiliar os sistemas de comunicação sem fio para que eles estejam preparados para as próximas gerações e suas novas perspectivas de evolução tecnológica.

Neste projeto, portanto, foi implementada uma técnica de detecção de erros de bit nas transmissões de módulos RF causados por ruídos. A solução para este problema foi formulada e apresentada através de estudos de casos e experiências laboratoriais. Pode-se notar que a arquitetura proposta aqui atinge os objetivos propostos inicialmente e pode ser facilmente implementada para o aumento de robustez, graças a interação entre as mais diversas subáreas relacionadas a Engenharia de Redes de Comunicação e Engenharia Elétrica.

Como continuidade, pode-se ser realizado um trabalho para eventualmente aplicar os resultados obtidos aqui em outras redes em fio que utilizem módulos RF em frequências maiores, aprimorando, assim, as aplicações que as utilizam.

Capítulo 6

Bibliografia

- [1] LATHI, B. P.; Modern Digital and Analogic Communication Systems. Library Of Congress, v. 3, p. 1—780, 1996.
- [2] CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer; Redes WBAN podem representar avanço para as ciências.it NAMITEC, v.1, p.1.
- [3] FERNÁNDEZ, G.M.E.; Codificação de canal para sistemas de comunicação Digital. Elétrica - UFPR - Universidade Federal do Paraná, v.1, p. 1–37, 2011.
- [4] VIEIRA A. M.; Comunicação Via RF; UNIVASP - Fundação Universidade Federal do Vale do São Francisco, v.1, p.1–25.
- [5] ABDALLA, H.; Introdução aos sistemas de Telecomunicação Módulo V. ENE - UnB - Universidade de Brasília, v.1.
- [6] PINHEIRO G.; Circuitos de Comunicação - introdução; UERJ -Universidade Estadual do Rio de Janeiro -FEN-DETEL, v.1. , p.1–31.
- [7] ASSIS R.F.;Introdução a Engenharia de Radiofrequência. IEEE/ BA, v.1, p. 1–26, 2009.
- [8] JÚNIOR, S. R. L.; Sinais e ruídos em sistemas de medição - Parte I; ENE - UnB - Universidade de Brasília, v.1, p.1–33, 2016.
- [9] MATTOS D. D. W., Códigos de Verificação de Erros de Paridade de Baixa densidade (LDPC); UTFPR - Universidade Tecnológica do Paraná; v.1, p.1–48, 2012.
- [10] NUGROHO B.S., "LDPC Code. Using MATLAB and C MEX";
<https://sites.google.com/site/bsnugroho/ldpc>,
acesso em: 12/04/2019.
- [11] SHANNON C.E., "A Mathematical Theory of Communication"; Bell Systems Technical Journal, v.27, 1948.
- [12] HAMMING R. W., "Error Detecting and Error Correcting Codes"; Bell Systems Technical Journal 26(2). Workshop given at Sunbelt XXXVIII Conference 1950; V.29, p.1–29, 1950.

- [13] PEIXOTO E. F. S., Projeto 1 de Sistemas Digitais 1 - Código de Hamming (4,7); ENE - UnB - Universidade de Brasília, v.1, p.1–3, 2014.
- [14] SUTZMANN L.W., THIELE A.G., Teoria e Projeto de Antenas; LTC-Livros Técnico-Científicos (traduzido pelo Prof. J.R. Souza - UERJ), v.3, 2017.
- [15] THAMAY, F., MORAIS, M.E., Monitoramento de crianças e idosos utilizando uma WBAN; UEPB - Universidade Estadual da Paraíba - Núcleo de Tecnologia estratégicas em saúde - NUTES, RE. SAÚD. DIGI. TEC. EDU., Fortaleza, CE, v.3, p.44–59, 2018.
- [16] CARCAMO, H.K., NEIRA, J.V.A., VALDERRAMA, V.M.T., Redes de Area Corporal Inalámbricas: Requisitos, Desafios e Interferencia; Universid de Santiago, Chile, 2014.
- [17] WANG, J., WANG Q., “Body Area Communications: Channel Modeling, Communication Systems, and EMC”; John Wiley and Sons Singapore. pp. 278, 2013.
- [18] DE CASTRO, F.C.C., FRANCO, P.R.G., Antenas - Capítulo VII - Outros tipos de antenas; PUCRS - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - Faculdade de Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica; p.1–19.
- [19] CREMONEZI, B.M., PDAC: Um protocolo de alocação dinâmica de canais para ambientes médicos, UFJV - Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós Graduação em Ciência da Computação, p.1-57, 2017.
- [20] GOMES, M.P., Controle de Acesso ao Meio (MAC) Baseado em Polling Flexível e Ponderado para Rede Corporal de Sensores Sem Fio, FACCAMP - Faculdade Campo Limpo Paulista, Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação, p.1-97, 2015.
- [21] CAFÉ, D. C., "Documentação Oficial libmsp430"
<https://github.com/dccafe?tab=repositories> acesso em: 19/04/2019;
- [22] DE NADAI, N., DA SILVA, B.C., Códigos BCH, UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, p.1-13, Junho de 2015.
- [23] REED, I.; SOLOMON G. “Polynomial Codes Over Certain Finite Fields”. SIAM Journal of Applied Math, vol. 8, Junho de 1960, pp. 300-304.
- [24] DA SILVA, A.H.L., RODOLFO, T.A. Implementação de uma Arquitetura Reed-Solomon para uso em Redes OTN 10.7 Gbps . PUC - RS., Faculdade de Engenharia – Faculdade de Informática, Dezembro de 2007, p.1-67.
- [25] KWAK, K.S., ULLAH, S., ULLAH, N. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard. UWB-ITRC Center, Inha University, South Korea. February, 2011, p. 1-6.
- [26] FREITAS, G.Q.M. e I.B.A., 2009. Experiência-piloto de assistência domiciliar: Idosos acamados de uma unidade básica de saúde, Porto Alegre, Brasil. Revista da Escola de Enfermagem, 43(4), pp.823–830.
- [27] DOS SANTOS, N., Uma Plataforma de Larga Escala Utilizando a Tecnologia WBAN para a Monitoração de Pacientes. Faculdade Campo Limpo Paulista. Brasil. Janeiro de 2016, p.1-169.

[28] SILVA, S.C. Cabeamento Estruturado. Instituto Federal de Santa Catarina - São José - Santa Catarina - 2011, p.1-91.

Apêndice A

Algoritmo para código corretor de erro de 1 bit

——— *Gerar a palavra-código a partir de uma mensagem*

1. Para gerar uma palavra-código utilizamos a matriz geradora do código \mathbf{G} (isto é, o codificador para o código de Hamming);
2. Na rotina principal, codifica-se o nibble (4-bits) para gerar o byte. Os últimos quatro bits são de paridade;

——— *Decodificar a palavra-código recebida em uma mensagem*

1. Utilizar a matriz de paridade \mathbf{H} da matriz geradora \mathbf{G} ;
2. A matriz de paridade \mathbf{H} pode ser encontrada a partir de \mathbf{G} resolvendo a equação $\mathbf{GH}^T = 0$;
3. O algoritmo para decodificar a palavra recebida consiste em encontrar a síndrome \mathbf{S} ;
4. A Síndrome diz exatamente qual dos bits deve ser invertido para transformar a mensagem de saída em uma palavra código correta.

——— *Para o transmissor*

1. Escolher as portas corretas para transmissão de dados no Microprocessador;
2. Adaptar o *timer* para contar um tempo específico para a transmissão;
3. Estabelecer parâmetros como paridade, bit mais significativo e ordem dos bits;

——— *Para o receptor*

1. Escolher as portas corretas para a recepção de dados no Microprocessador;

2. Estabelecer um *timeout* para apagar os LEDs, caso a transmissão falhe;
3. Adaptar os LEDs para identificar a palavra-código no dicionário;
4. Caso a palavra esteja no dicionário, acender o LED Verde. Caso contrário, acender o LED vermelho;